

Two-Dimension Seismic Profile Research and Its Geological Significance of Zhaoyuan-Pingdu Fracture Zone in Shandong Province

Hongkui Li¹, Chuanyuan Zhuo¹, Wei Shan¹, Xiudong Wang², Siqing Tian²

¹Shandong Key Laboratory of Geological Processes and Resource Utilization in Metallic Minerals, Key Laboratory of Gold Mineralization Processes and Resources Utilization, The Ministry of Land and Resources, Shandong Geological Sciences Institute, Jinan Shandong

²Shandong Taishan Geological Survey Company, Taian Shandong

Email: IhkIhk126@126.com

Received: Jan. 16th, 2015; accepted: Feb. 2nd, 2015; published: Feb. 9th, 2015

Copyright © 2015 by authors and Hans Publishers Inc.

This work is licensed under the Creative Commons Attribution International License (CC BY).

<http://creativecommons.org/licenses/by/4.0/>



Open Access

Abstract

The seismic exploration has become an ordinary exploration method since it was founded and seismic exploration techniques have always been continuously developed. The application of seismic exploration techniques for metallic ore exploration is a new and promising technique, and has gained more attentions. The interpretation precision and application degree of seismic exploration techniques can be improved by high precision seismic prospecting method and advanced data processing technique. The technique of coupling seismic exploration and seismic surveying is the developing direction of mineralization prediction and geophysics prospecting for concealed deposit. Based on the geological condition research of Zhaoping fault zone, this paper chose a typical part through Dayingezhuang mining area of Zhaoping fault zone as the object, and focused on the 2D seismic prospecting data acquisition, actual seismic data processing and seismic interpretation, and gained a better effect. The available seismic sections with high quality for structure interpretation have been obtained in the study area. Result of tomography reveals the deep-seated structural features, the linear feature of ore-controlling structure and the contact surfaces among different geologic bodies clearly. These researches will facilitate the depth study of the deep structure features, large-scale tectono-magmatic activities, the tectono-magmatic evolutionary history, and will be helpful for the setting of seismic exploration ore-prospecting model. The successful application of 2D seismic prospecting technology is very important for the deep mineral exploration in Jiaodong area.

Keywords

Reflected Wave, Seismic Profile, Seismic Exploration, Geological Significance, Zhaoyuan-Pingdu Fracture Zone

山东招远 - 平度断裂带二维地震剖面研究 及其地质意义

李洪奎¹, 祁传源¹, 单伟¹, 王秀东², 田思清²

¹山东省地质科学研究院、国土资源部金矿成矿地质过程与资源利用重点实验室、山东省金属矿产成矿地质过程与资源利用重点实验室, 山东 济南

²山东泰山地质勘查公司, 山东 泰安

Email: Ihkhk126@126.com

收稿日期: 2015年1月16日; 录用日期: 2015年2月2日; 发布日期: 2015年2月9日

摘要

自从地震勘探技术成为一种常规勘探方法以来, 地震勘探技术始终处于不断改进之中。近几年在金属矿深部勘查中, 地震勘探技术的应用逐步得到重视和推广, 地震数据处理技术的提高使得地震勘探的精度得到很大的提升, 其应用范围逐步扩展, 与地震测量相结合的多元信息融合成为开展成矿预测、寻找深部隐伏矿的发展方向。本文在研究招平断裂带地质概况的基础上, 以通过大尹格庄金矿的招平断裂带为重点, 利用二维地震勘探, 完成地震资料的采集、处理和解释工作, 探索地震勘查对非层序地层区断裂构造带的解译效果。地震剖面较好的揭示了招平断裂带东西两侧及深部地质体结构特征及差异, 清晰地显示了控矿构造线性特征、多期岩浆活动形成的界面以及后期构造活动对控矿构造的影响, 为分析区内断裂构造深部特征和活动期次、岩浆侵入界面和期次划分、构建岩浆-构造格架和建立已知金矿的地震物理勘查找矿模型提供了佐证。二维地震在招平断裂带研究效果显示良好, 该数据的取得对胶东地区的深部找矿具有重要的指导意义。

关键词

反射波, 地震剖面, 地震勘探, 地质意义, 招远 - 平度断裂带

1. 引言

地震勘探方法作为地球物理勘查的一种重要手段, 现已成功地应用于石油、煤田、盐类、天然气等一些沉积矿产的勘查方面[1][2]。近几年, 加拿大、澳大利亚等国家十分重视金属矿产的地震方法技术研究, 较好地解决了金属矿勘查中的一些地质问题, 如探测控矿构造、岩性填图、侵人体和蚀变带的圈定等, 取得了较好的地质效果[3][4]。

21世纪以来, 随着信息技术的飞速发展, 地震勘探技术得到了巨大的提高, 以工作站为基础的地震数据处理使得地震勘探的精度得到很大的提升, 其应用范围逐步扩展, 美国等地震勘探技术较为先进

的国家在上世纪八、九十年代就已经开展金属矿地震勘探研究及应用工作。

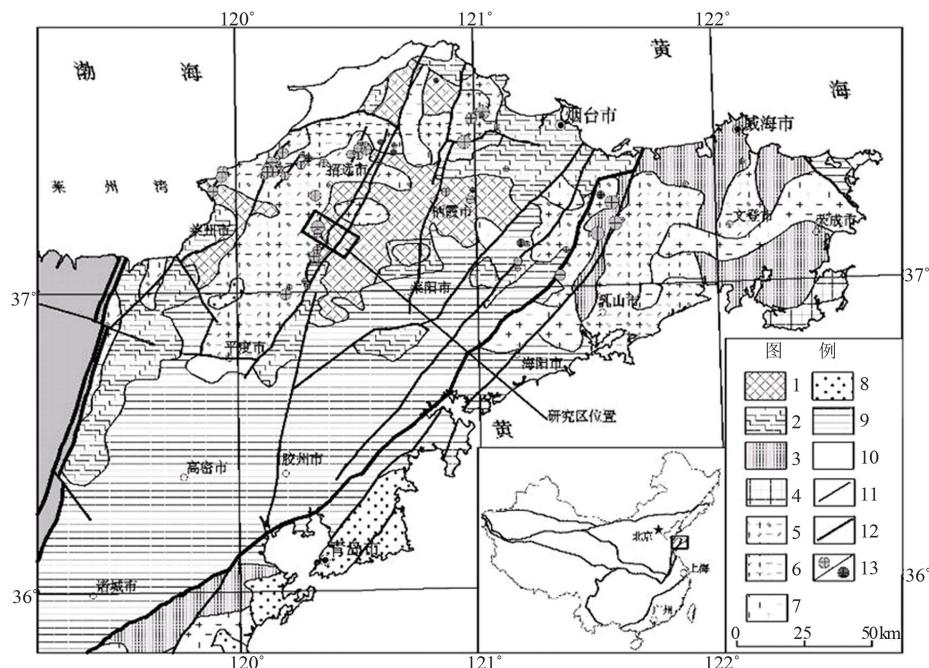
我国在 2000 年左右再次开展以深部找矿为目标的地震勘探的技术方法研究。2006 年国土资源部部署实施《地壳探测工程》，2008 年启动了“深部探测技术与实验研究专项”（英文简写：SinoProbe）作为《地壳探测工程》的培育性启动计划，并由中国地质科学院组织实施，提交了《深部探测技术试验与集成》和《深部矿产资源立体探测及实验研究》报告。以地震勘探为代表的寻找隐伏金属矿的地面物探综合技术集成，以及在此基础上开展精细化探测和立体填图，开展多元信息融合建立三维地质模型，是未来深部隐伏矿找矿和开展成矿预测、深部勘查的发展方向。

招平断裂带大尹格庄金矿二维地震剖面研究旨在利用地震勘探方法探测招平断裂带深部构造特征和侵入体空间形态，探讨地震方法在相似花岗岩分布区对构造评价的效果，探索地震找矿方法在胶东地区深部金矿找矿中的应用实践。

2. 地质背景

研究区位于沂沭断裂带以东，胶东半岛中北部地区。按板块构造的划分，该区大地构造区划属华北板块(I)的胶辽地块(II)之胶北断隆(III)区(图1)。区内以前寒武纪结晶基底为主，盖层不发育。基底有太古宙、元古宙地层，在断陷盆地内有中生界和新生界分布[5][6]。岩浆岩主要为新太古代谭格庄序列和马连庄序列、晚侏罗世玲珑序列以及玲珑-招风顶脉岩带。区域构造主要有EW向构造带、NNE-NE向断裂带及NW向断裂构造。

招平断裂为区内规模大控容矿构造，是在基底断裂基础上承生发展起来的一条控矿断裂，自南向北基本上沿胶东岩群、荆山群与玲珑花岗岩的接触带延伸。招平断裂发育有连续稳定的主裂面，其两侧发育有宽大的构造岩带，在其下盘发育有一系列的次级控矿构造。招远-平度断裂是长期多次活动的结果，



1-太古宙 TTG + 表壳岩; 2-元古宙变质表壳岩; 3-高压-超高压变质带; 4-三叠纪岩浆杂岩; 5-侏罗纪玲珑侵入岩; 6-早白垩世郭家岭侵入岩; 7-早白垩世伟德山侵入岩; 8-早白垩世崂山侵入岩; 9-白垩纪沉积-火山沉积岩系; 10-新生代沉积-火山沉积岩系; 11-主要地质界线; 12-主要断裂; 13-金矿/榴辉岩。

Figure 1. The tectonic location sketch map of research area

在成矿前至成矿过程中，其力学性质由右行压扭斜冲，转为上盘斜落的左行张扭性，使早期的紧闭断裂发展成为张性断裂，从而为矿液的上移提供了通道。控制的矿床有台上、大尹格庄两个特大型金矿床以及夏甸、曹家洼等一系列中小型金矿床[7]-[9]。

研究区为侵入岩、变质岩区，区内断裂系统发育，断面倾角较缓，一般在 $29^{\circ}\sim45^{\circ}$ 之间，由于断层上下盘赋矿部位一般蚀变严重，断裂内部也有一些裂隙，由于断裂带填充物的不同，都会导致断层与周边岩体具有体积密度的差异，这样在断层断面处有可能形成反射波，具有开展地震测量的物质基础[10]。

3. 工作方法

由于本次地震勘探深度大，地震地质条件复杂，本次地震采用大井深、大药量、大排列、高覆盖的工作方法。剖面垂直招平断裂带自西向东布设，走向 100° ，起点位于招平断裂带西偏北，布设起点为10,000，终点为23,000，剖面全长13 km(图2)。

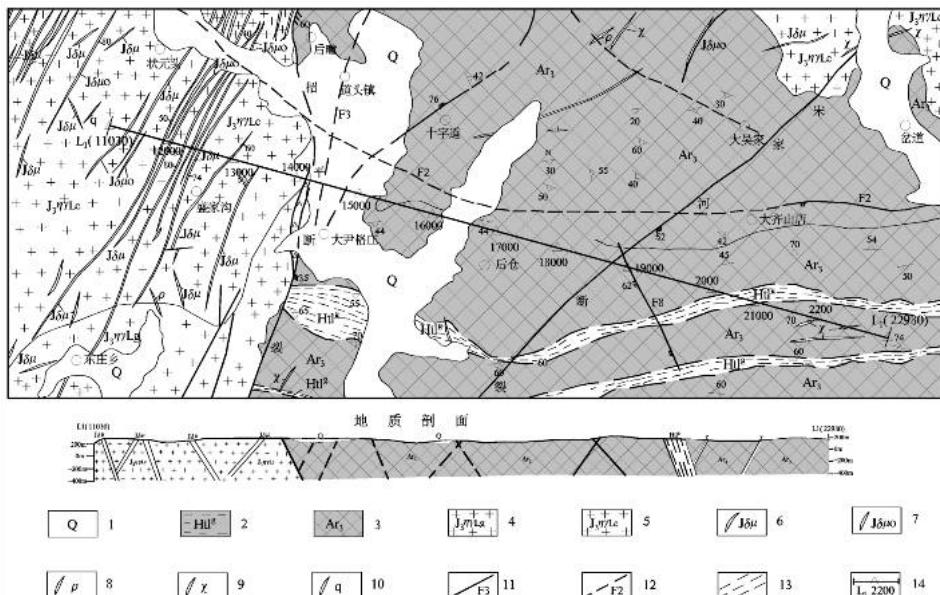
3.1. 激发井深和药量实验

激发井深和药量试验的目的是确定本区地震测量的最佳深度与所需药量，试验深度分别选择8 m、10 m、12 m、14 m和16 m，药量选择4 kg、4 kg、6 kg、8 kg和10 kg。通过对比研究，当井深大于12 m时、药量6 kg时能获得较好单炮资料。为确保采集数据质量，最终确定采用激发井深16 m，激发药量6 kg来进行施工。

3.2. 观测系统及数据采集

通过试验分析，本区确定了以下观测系统和数据采集方法：

观测系统：采用不对称排列内激发(炮点小号150道，大号50道)，道距20 m，炮距40 m，接受道



1-第四系; 2-荆山群禄格庄组黑云片岩; 3-太古宙 TTG + 表壳岩; 4-玲珑序列郭家店单元二长花岗岩; 5-玲珑序列崔召单元含黑云二长花岗岩; 6-玲珑-招风顶脉岩带闪长玢岩脉; 7-玲珑-招风顶脉岩带石英闪长玢岩脉; 8-玲珑-招风顶脉岩带伟晶岩脉; 9-玲珑-招风顶脉岩带煌斑岩脉; 10-玲珑-招风顶脉岩带石英脉; 11-实测断层; 12-推断断层; 13-韧性剪切带; 14-地震(地质)剖面及柱状。

Figure 2. Geographic location of the Seismic profile

图2. 地震剖面布设位置图

数 200 道，排列长度 3980 m，覆盖次数 50 次。

数据采集：选用 388 遥测数字地震仪，仪器道数 200 道，记录长度 6 sec，采用自然频率 35 HZ 的检波器，采样率 1 ms，其组合方式为 6 个检波器，3 串 2 并组合全频带接收，记录格式为 SEG-D 格式，记录密度是 6250 BPI。

3.3. 资料处理流程

地震资料的数据处理研究是初步的[11]。经反复试验研究，本次研究资料处理主要围绕空间属性的建立及检查、围绕振幅处理、静校正、反褶积、剩余静校正和偏移等关键环节进行。本次采用处理流程如下(图 3)。通过对招平断裂带中段地震资料的试验处理研究，得到了地震测线的高分辨率反射地震时间剖面。

4. 资料解释及地质意义

地震资料的地质解释属地震反演范畴，必须采用正确有效的方法，克服地震解释的多解性，综合利

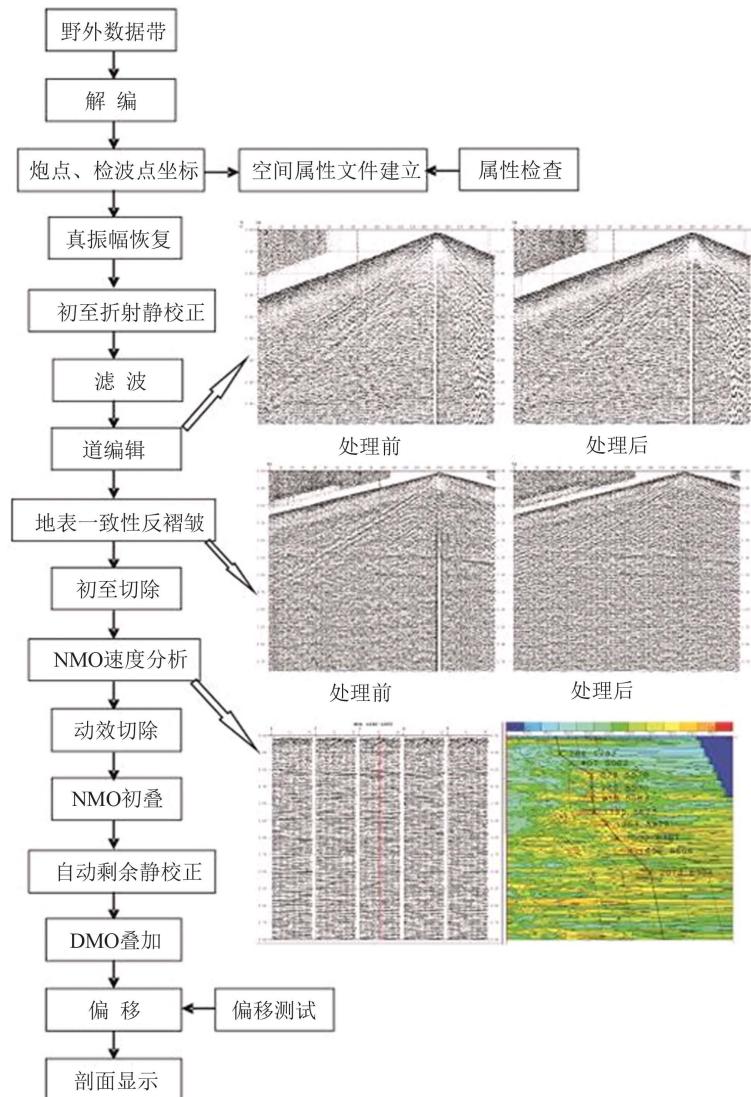


Figure 3. Data processing process and treatment effect comparison

图 3. 数据处理流程及处理效果对比图

用各种参数，获取可靠的地质信息[12]。本次勘探根据已获得的地震时间剖面，充分结合本区的区域地质资料，进行了深入细致的解释工作。

4.1. 断面反射波(波组)

研究区为侵入岩、变质岩区，地质体往往呈不规则形状产出，地质界面之间的波阻抗差异不明显且地质界面之间的接触关系复杂，不易形成较强的地震反射波。区内地震反射机制主要来源于大量的断裂面，在断裂面上，由于断距的变化(裂隙大小不均)以及裂隙充填物的变化不均，加上由于断面蚀变严重，断层两盘之间的物性有差别，可以形成能量较强的反射波。但由于断裂裂隙大小的变化，往往导致断面反射波连续性较差，能量不均，而且经常发生相变，不利于断面反射波的连续追踪，这也是断面反射波的一个显著特征(图4)。断面反射波是本区的主要反射波和目的层反射波。

4.1.1. 招平断裂带反射波

招平断裂是本次研究工作的重点，本次研究工作的一个主要目的就是查明招平断裂带深部形态特征，以此揭示赋矿空间的分布规律。

在时间剖面上以大尹格庄为起点，断面出露位于桩号 14,060 处(图 5)，招平断裂为一区域性大断裂，断裂宽度变化较大，在时间剖面上表现为一组较强的反射波组，浅部 1~2 个相位，往深部反射波组厚度逐渐增加，最后表现为由 5 至 6 个相位组成，特征比较明显；断面与玲珑岩体相接，走向北东，整体向东倾伏，倾角约 40°，由于压扭作用，导致局部倾角较大，断面纵向最大深度约 3000 m(图 5)。

大尹格庄金矿位于招平断裂带上，以知的钻孔资料为本次资料解释带来了便利(表 1)。从钻孔揭露资料和地震时间剖面对比解释的效果来看，ZK47 钻孔吻合较好，误差小于 4%；ZK1 孔由于断裂面较大，解释误差稍大，顶部深度误差 15%，底部误差为 4%，可能与断面反射波的对比精度有关。

4.1.2. 宋家河断裂反射波

宋家河断裂断面出露位于桩号 18,830 处，其反射波由 3 个相位组成。整体向东倾伏，倾角约 40°，走向北东，断面纵向最大延展深度约 1800 m(图 5)。

4.2. 侵入岩体形成的反射波

侵入岩体内部不同时期的侵入界面或由于岩体之间的界面，由于侵入年代以及侵入成分的差异，在

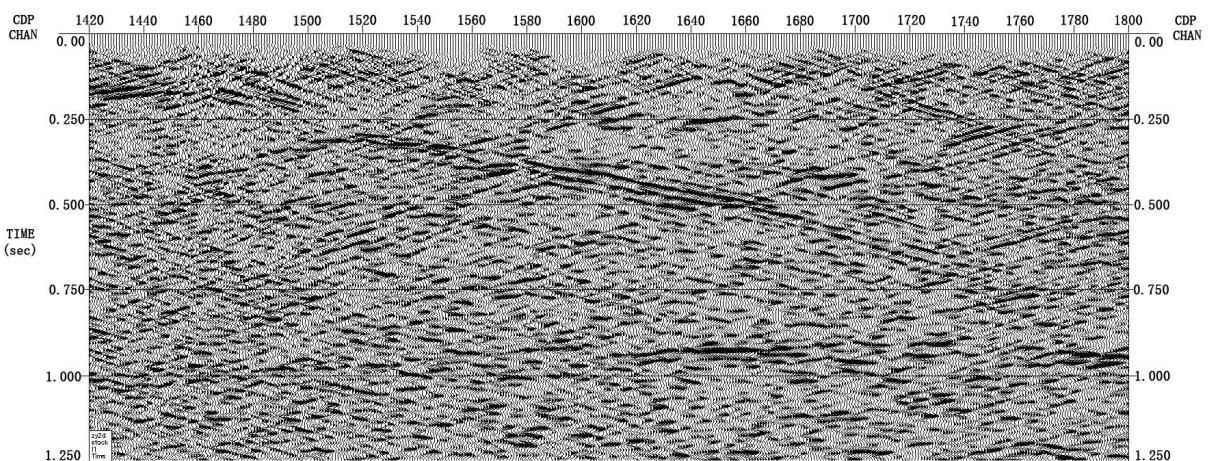


Figure 4. Section of reflection potter

图 4. 断面反射波特征

侵入岩体内部也有可能形成一定的反射，但反射波组连续性较差，能量弱。由于岩体的受力方向和运动特征，多表现为向上的弧线形状(图 6)。

测线西侧浅部主要由玲珑花岗岩岩体组成，其与东面胶东岩群以招平断裂为分界，在其与招平断裂连接部位以及其内部因侵入年代等原因都有形成反射波的机制(图 7)。

Table 1. The comparison of different drilled hole

表 1. 钻孔对比解释表

钻孔	位置	见碎裂带深度	地震反射时间	地层速度	地震解释深度	备注
Zk47	14450	200~250 m	105~125 ms	5000 m/s	193~242 m	
Zk1	14910	490~736 m	255~335 ms	5000 m/s	567~767 m	孔口标高 130

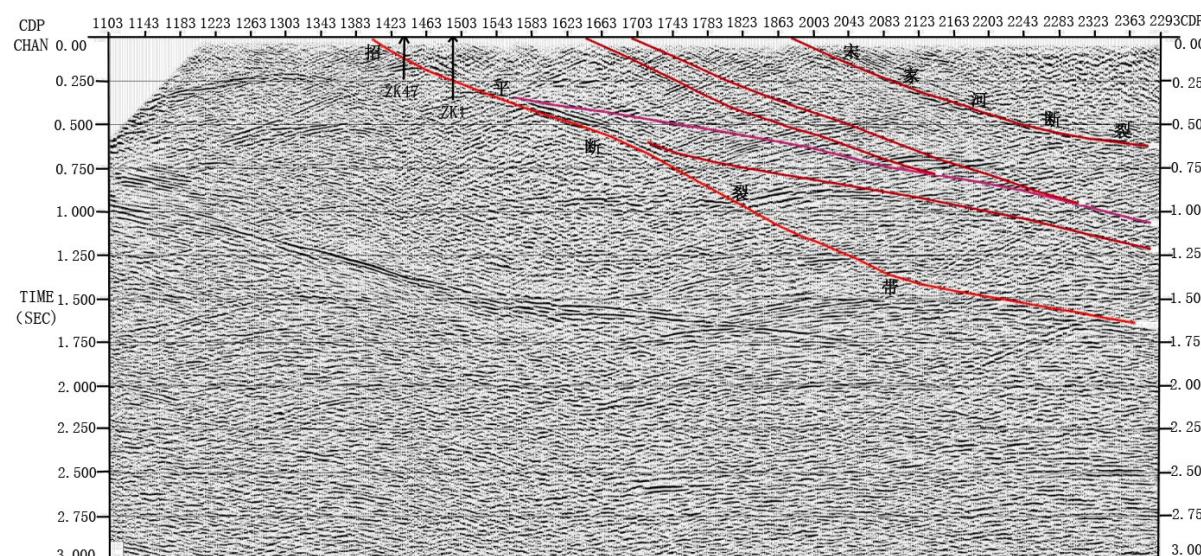


Figure 5. Explain section of Zhaoping fracture zone and songjiahe fracture

图 5. 招平断裂带和宋家河断裂

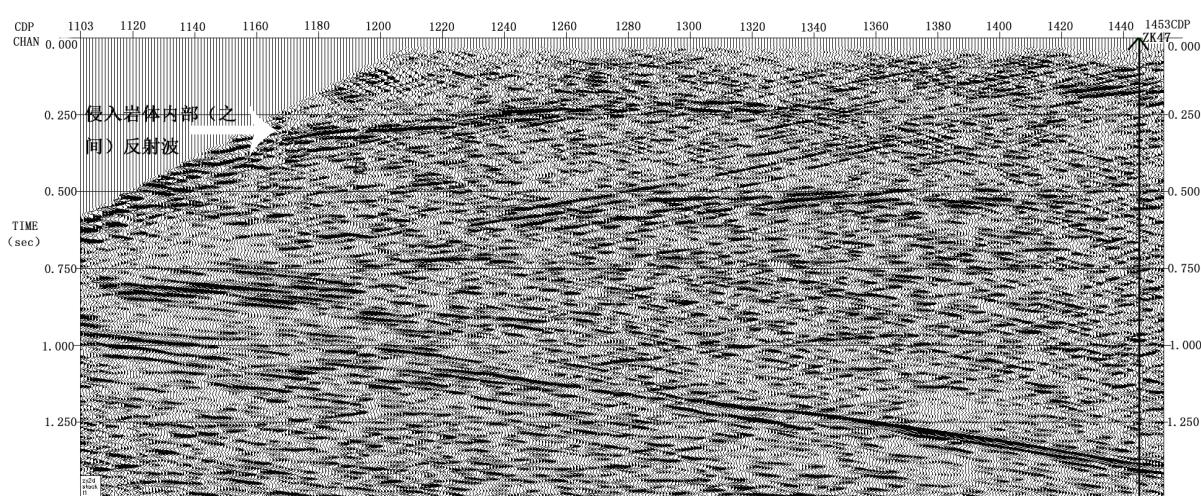


Figure 6. The characters of reflection potter in the rock mass

图 6. 岩体内部反射波特征

4.3. 地质意义

通过对招平断裂带中段大尹格庄金矿二维地震剖面研究(图 8), 我们可初步得出以下几点认识:

- 1) 以招平断裂带为界, 西侧岩浆岩分布区, 深部自上而下识别两组向上凸起的弧形反射界面, 将该区域大致分为三个区块。该界面的形成推测存在两期岩浆活动存在。结合地质资料分析, 第一组弧形反射界面应为玲珑岩体侵入界面, 第二组弧形反射界面推断为郭家岭岩体侵入界面。
- 2) 地震剖面显示工作区断裂构造发育, 大致反映了三组断裂信息。与剖面垂直的 NNE 向断裂可分为倾向相反的两组。一组是以招平断裂带、宋家河断裂为主的倾向 SE 的铲式断裂。一组为倾向 NW 的反向断裂, 该组断裂在地表出露区为第四系覆盖区。两组交叉的断裂构造将地质体分割呈“菱形”块体。
- 3) 根据断裂的穿插、切割关系, 推断招平断裂带形成时代最早。招平断裂带为玲珑岩体与新太古代变质岩的接触带, 界面反射波显著。在深部约 450 m 处显示反射波同向轴被北西倾的断裂所错断, 上盘下降并有较大的位移量, 断裂延伸切割玲珑杂岩体; 同样的伸展构造的存在于招平断裂带近地表处, NW

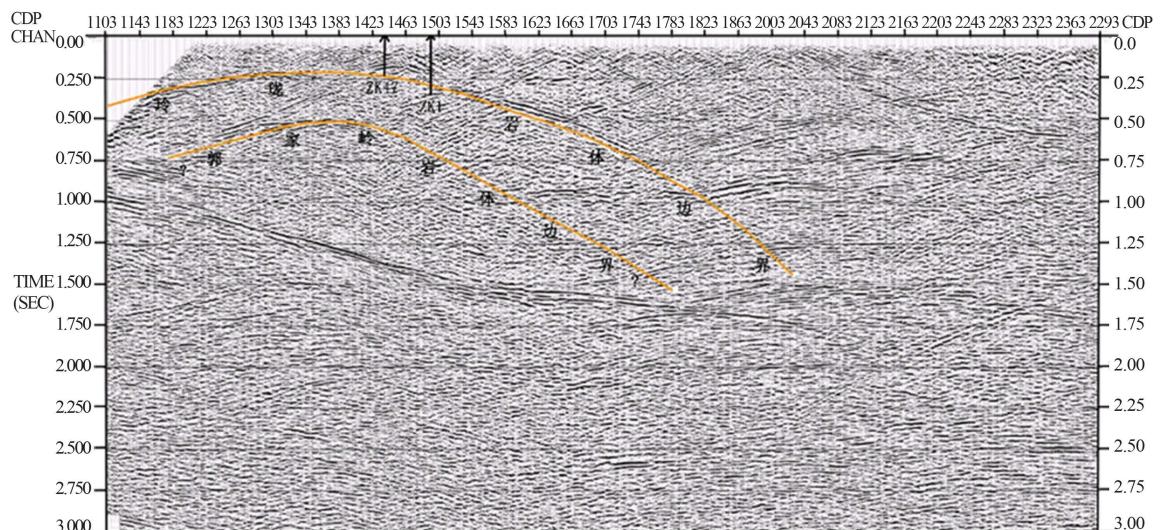


Figure 7. The explanation of reflection pattern in the rock mass

图 7. 岩体内部反射波解释

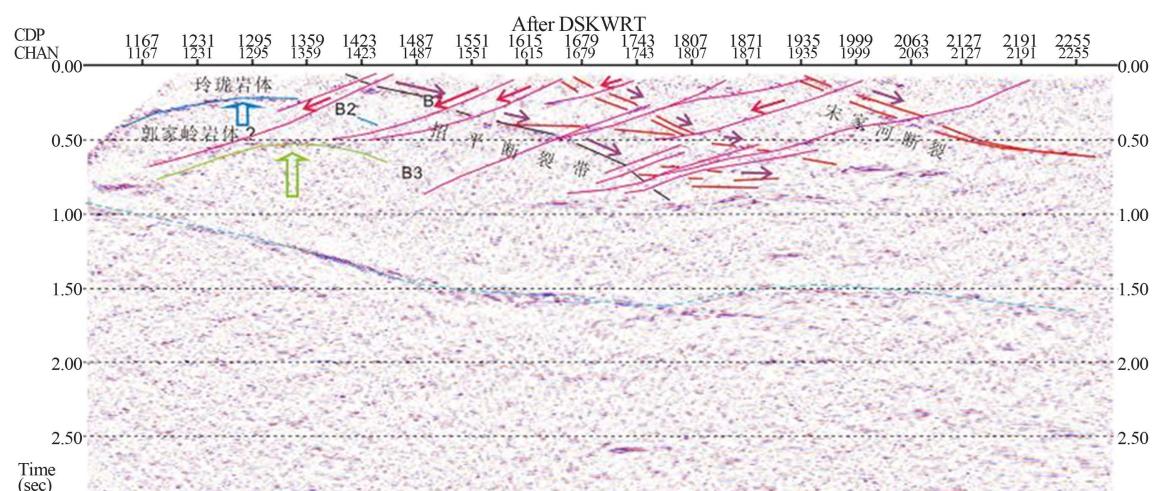


Figure 8. Comprehensive geological interpretation chart seismic section

图 8. 地震剖面综合地质解释图

倾向的断裂在约 1800 m 处错断招平断裂，同时向下延伸错断了玲珑杂岩体内部的岩体侵位形成的接触界面，并有较明显的断距。

4) 宋家河断裂为测线内规模可与招平断裂带近似的大型铲状断裂，断裂反射波显著，断层深部形态显著变缓，在深部存在与招平断裂汇入同一构造滑脱带的可能。

综合研究显示，在玲珑岩体就位后，发育三期的伸展构造，初期的为招平断裂早期断裂形成，第二期为 NW 向反倾伸展断裂的形成，该期断裂错断了早期的招平断裂和岩体接触界面，值得提出的是：第三期伸展为错断的招平断裂的继续活动。宋家河断裂的形成或同期与早期的招平断裂，或为第二期伸展形成。从形成机制、构造样式角度分析，其与招平断裂为同期构造或稍晚于招平断裂，为岩体隆升过程中沿边界断裂形成的一系列断阶之一，新太古代沉积变质岩就是由于其伸展下凹得以保存。

5. 结论

1) 针对本区地震地质条件较差的情况，采用大激发井深、大药量、大排列、高覆盖次数的野外施工方法，通过加大放炮深度及药量，增加覆盖次数，增加检波器组数等一系地震数据采集参数调整，地震施工取得了良好的效果。地震剖面很好的展现了招平断裂带东西两侧及深部地质体结构特征及差异，清晰的显示了控矿构造的线性特征，多期岩浆活动形成的界面以及成矿期后构造活动对控矿构造的影响，该数据的取得对该区域的深部找矿具有明确的指导意义。

2) 在大尹各庄矿区深部识别了三期岩浆侵入界面以及两期构造行迹，初步揭示了大尹格庄矿区深部地质体结构构造特征。发现了招平断裂带作为玲珑岩体和胶东群岩性界面和区域性构造界面的在深部的分离现象。根据地震剖面影像特征，推测深部存在的多个强反射界面为岩体与胶东群之间的接触面以及招平断裂带深部延伸与岩性界面分离部分，断裂在深部分支形成多个滑脱拆离面，并将深部地质体分割形成多个近透镜状的叠置岩片、拆离体。

3) 初步建立了岩浆 - 构造耦合关系及活动时序，断裂构造多为铲式断裂，断裂构造组合样式为近等间距叠瓦状，岩浆活动与构造发育过程呈现变质核杂岩伸展模式。

4) 采用已有的地质调查资料、钻探资料，对速度的研究和已知地质资料证明解释结果与钻孔揭露情况吻合较好；使得与测线正交的断层反射波结合钻孔揭露、地表露头得到了综合解释，侧面反射波也得到了较合理的解释，同时利用区域地质资料对一些不规则界面形成的反射波进行了岩性推断，探索了变质岩侵入岩区对金属矿产利用地震勘探方法具有指导作用。

致 谢

非常感谢审稿专家、编辑在论文修改过程中提出的宝贵意见和建议！

基金项目

本文为山东胶西北隆起区地学断面工程与深部找矿方向研究(2012032)和山东省泰山学者建设工程专项经费联合资助。

参考文献 (References)

- [1] 徐明才, 柴铭涛, 荣立新, 王广科, 刘建勋, 高景华 (2007) 拜仁达坝多金属矿区的地震方法试验研究. 物探与化探, **3**, 221-225.
- [2] 张虎生, 张炎孙, 沈健 (2001) 地震勘探方法在江西九江 - 瑞昌地区寻找隐伏岩(矿)体的应用及效果. 物探与化探, **4**, 279-284.
- [3] Oliver, J.E. (1978) Exploration of the continental basement by seismic reflection profiling. *Nature*, **275**, 485-488.

-
- [4] Oliver, J.E., Cook, F.A. and Brown, L.D. (1983) COCORP and the continental crust. *Journal of Geophysical Research*, **88**, 3329-3347.
 - [5] 李洪奎, 李逸凡, 耿科, 等 (2011) 山东鲁东碰撞造山型金矿成矿作用探讨. *大地构造与成矿学*, **4**, 533-542.
 - [6] 李洪奎, 李逸凡, 耿科, 等 (2013) 山东鲁东地区中生代构造 - 岩浆事件与金矿成矿作用. *地球科学前沿*, **3**, 141-154.
 - [7] 祁传源, 李洪奎, 单伟, 耿科, 等 (2014) 基于多元统计学的大尹格庄金矿床深部地球化学找矿标志研究. *黄金*, **8**, 21-24.
 - [8] 张宏远, 侯泉林, 曹代勇 (2005) 胶东东部中生代走滑逆冲构造带的超微构造研究. *中国地质*, **4**, 571-578.
 - [9] 林文蔚, 赵一鸣, 徐珏 (2000) 胶东招远 - 平度断裂活动性质及活动时代. *中国区域地质*, **1**, 43-50.
 - [10] 高景华 (2002) 金属矿勘查中的地震理论模型研究. *物探与化探*, **5**, 350-356.
 - [11] 梁光河, 蔡新平, 张宝林, 徐兴旺 (2001) 浅层地震勘探方法在金矿深部预测中的应用. *地质与勘探*, **6**, 29-33.
 - [12] 徐明才, 高景华, 荣立新, 刘建勋, 柴铭涛, 王广科 (2003) 散射波地震方法在蔡家营多金属矿区的试验研究. *物探与化探*, **1**, 49-54..

汉斯出版社为全球科研工作者搭建开放的网络学术中文交流平台。自2011年创办以来，汉斯一直保持着稳健快速发展。随着国内外知名高校学者的陆续加入，汉斯电子期刊已被450多所大中华地区高校图书馆的电子资源采用，并被中国知网全文收录，被学术界广为认同。

汉斯出版社是国内开源（Open Access）电子期刊模式的先行者，其创办的所有期刊全部开放阅读，即读者可以通过互联网免费获取期刊内容，在非商业性使用的前提下，读者不支付任何费用就可引用、复制、传播期刊的部分或全部内容。

